TOPICS

재생 PET를 이용한 Polymer Concrete

Polymer Concrete(PC)는 수지와 무기충진제(ex. 모래, fly ash, 거친혼합제) 등을 이용해서 형성된다. 이러한 PC는 매우 강하고 내구성이 있는 재료로서 도로와 교량의 보수재료와 같은 여러용도로 사용된다.

그러나 PC에 사용되는 수지의 높은 가격때문에 사용량이 제약을 받는다. 그런데 쓰레기 음료수병으로부터 재생되는 polyethylene terephthalate(PET)는 수지의 잠재공급원이 될수 있고 또한 이것은 최근에 많은 문제가 되고 있는 환경오염을 완화시키는데도 일조를 할 수 있다.

이번 topic에서는 재생 PET를 PC에 사용하는 가능성에 대해 다루어 보기로 한다.

재생 PET를 사용한 불포화 폴리에스테르

정제된 PET조각들은 ethylene, propylene 또는 neopentyl glycol을 사용하여 glycolized monomer와 oligomer로 분해된다. 이러한 oligomer들은 unsaturated dibasic acid 또는 anhydride와 반응하여 불포화 폴리에스테르 수지를 형성한다. 이때에 여러종류의 특허성분이 유연성이나 강성을 부여하기 위해서 추가된다.

불포화 폴리에스테르는 styrene에 녹이면 점도가 낮아지게 되어서 여기에 자유라디칼 개시제와 촉진제를 넣으면 부가중합에 의한 가교반응이 발생한다. 이때 styrene의 양은 일반적으로 전체 수지무게의 30~40% 정도가 되고 점도는 100~500 cps 정도가 된다.

불포화 폴리에스테르의 생산에 사용되는 PET조각들은 대개 음료수병으로부터 얻어진다. 통상적인 PET병은 투명, 녹색 또는 갈색 PET몸체와 알루미늄 병마개, 종이라벨 및 접착제로 이루어져있고 이것에는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)으로 만든 베이스컵이 부착되어 있다. 사용된 병이 수거되고 잘려지고나면 PET와 HDPE는 분리가 된다.

그러나 이 과정에서 가장 비용이 많이드는 것은 전체무게의 1% 정도를 차지하는 알루미늄, 종이불순물과 녹색, 갈색의 색을 없애는 것이다.(현재로는 미국에서 재생된 PET는 식품접촉이 법적으로 사용금지이기 때문에 새로운 병으로는 가공될수 없다)

그런데 재생 PET를 PC에 넣는 중요 장점은 PET를 정제시킬 필요가 없다는 점 또는 색깔이 있는 재료를 분리할 필요가 없다는 점이다. 현재 재생전문회사에서는 재생 PET를 3가지 grade로 $ 0.08에서 $ 0.35/lb의 가격으로 제공하고 있다.

재생 PET로부터의 수지를 사용한 PC

재생 PET를 가지고 만든 실험적인 불포화 폴리에스테르 수지를 6군데의 상업적인 소스로부터 입수하였다. 이러한 수지들(번호 1부터 6까지, Table 1 참

Table 1. Properties of Clear Cast Resins Made With Recycled PET

Resin	Percent PET	Tensile strength, MPa	Young's modulus, GPa	Elongation at failure, %
1	28	53.9	3.38	2.11
2	35	39.8	1.50	2.32
3	40	21.1	1.24	2.43
4	40	24.6	1.22	5.85
5	20	28.1	0.82	> 10
6	30	13.3	0.30	> 10

조)에서 PET의 양은 styrene이 들어가기전의 formulation의 alkyd portion 퍼센트로 표시되어 있다.

ASTM D 638에 의거한 투명 cast 수지의 인장 및 신장율은 Table 1에 요약되어있다. 이러한 성질들은 PC의 성능에 영향을 미치기 때문에 아주 중요하다. PC 혼합물의 설계는 가동성, 강도 그리고 경제성에 의거해서 최대한으로 조정되었다.

적정량의 혼합재 조성은 50%의 10 mm 자갈, 35%의 모래 그리고 15%의 재(fly ash)로 되어 있다. 그리고 적정량의 혼합재 : 수지의 비는 9 : 1 정도이다.

이 PC의 통상적인 포트랜드 시멘트 콘크리트에 대한 압축, 굽힘, 결합력 시험결과가 Table 2에 주어져있다.

시편들은 시험전에 3일간 숙성시키고 상온에서 경화시켰다. 압축강도와 Young율이 얻어진 압축시험은 지름 76 mm, 길이 152 mm의 표준 cylinder 형 시편을 가지고 44,500 N/min의 loading rate로 실시되었다.

굽힘강도와 ductility index는 강화되지 않은 길이 305 mm, 50 mm×50 mm의 단면을 갖는 빔을 가지고 2,225 N/min의 loading rate로 측정되었다.

결합강도는 포트랜드 시멘트 스라브위에 프라이머 처리없이 약 12 mm 두께의 PC를 발라서 측정하였다. 이것을 3일간 경화시킨후 100 mm 직경의 core를 직접 인장으로 잡아당겼다.

Table 1에서 투명 cast수지는 rigid한 것부터 flexible한 것까지 여러가지가 있다. 예를들어 높은 인장강도와 높은 Young율 그리고 낮은 신장율을 갖는 수지1은 rigid하다. 반면에 낮은 인장강도와 낮은 Young율, 높은 신장율을 갖는 6번수지는 flexible하다.

일반적으로 flexible한 수지는 교량 표면에 덧씌우는데에 적합하고 rigid한 수지는 조립식 콘크리트 부품에 적당하다.

Table 2에 있는 PC는 다양한 성질을 보여준다. Virgin material로부터 만들어진 PC는 압축강도가 40에서 130 MPa까지 있으며 굽힘강도는 10에서 25 MPa까지, Young율은 0.7에서 41 GPa까지 존재한다. 그러므로 재생 PET를 사용한 PC의 성질은 virgin수지를 사용한 것과 비슷한 성질을 갖는다.

용 도

PC의 용도는 마루나 교량의 덧씌우기, 포트랜드 시멘트 콘크리트의 보수 그리고 조립식 콘크리트의 구성요소 등이다. 덧씌우기는 포트랜드 시멘트 콘크리트위에 내마모성, 내산성과 낮은 투과율을 부여하기 위해서 얇게(10~25 mm 두께) PC를 바르는 것이다. 이것은 가볍고, 빨리 경화하고 또한 콘크리트 시멘트위에 단단히 달라붙는다.

또한 이것은 필요시 쉽게 적용가능하고 보수 또한 쉽다. 이점이 산업시설에서의 교량 및 마루에는 중

Table 2. Properties of PC Using Resins Made With Recycled PET

Resin	Compressive strength, MPa	Flexural strength, MPa	Tensile bond strength[a], MPa	Young's modulus, GPa	Ductility index[b], %
1	80.8	18.3	2.75[c]	21.9	2.57
2	55.6	19.7	2.75[c]	11.4	2.52
3	86.6	18.4	1.87[d]	28.4	2.78
4	42.1	15.4	2.14[d]	10.3	6.6
5	87.3	20.0	2.75[c]	22.6	2.5
6	70.4	20.2	2.75[c]	17.7	2.75

[a] Bond of PC and portland cement concrete.

[b] Ratio of beam deflections at ultimate to deflections at proportional limit.

[c] Failure occurred in portland cement concrete.

[d] Failure occurred at interface of PC and portland cement concrete.

요한 장점이다. 게다가 충분한 강도 및 접착력외에 교량표면의 덧씌우기에 사용되는 수지는 열에 의한 움직임에 적응하기 위해서는 높은 신장율과 낮은 Young율이 필요하다.

수지 1과 6의 경우에는 강도와 접착력 때문에 산업용 마루표면 덧씌우기에 적합하다. 오직 수지 6과 그것의 PC만이 높은 신장율과 낮은 Young율로 인하여 교량표면 덧씌우기에 이용될 수 있다.

포트랜드 시멘트 콘크리트의 수리에 PC를 사용한 것은 특히 고속도로와 교량에 성공적이었다. 예상으로는 1989년과 2000년 사이에 약 400억달라가 미국의 고속도로와 교량을 보수하는데 사용될 것으로 추정된다. PC의 장점은 우수한 강도와 내구성 그리고 일반 콘크리트에 대한 훌륭한 접착성과 매우 빠른 경화시간이다. 이러한 성질은 최소한의 교통체증과 향상된 안전성을 가져오고 값비싼 우회도로의 필요성이 없어진다.

이밖에 내구성이 있고 매력적인 마루타일도 PC로부터 생산된다. 기계의 base 및 기계공구부품도 PC의 주 사용용도중의 하나이다.

결 론

이러한 대부분의 용도에서 PC는 포트랜드 시멘트 콘크리트와 경쟁하고 있는데 포트랜드 시멘트는 PC의 약 5~10%의 가격에 불과하다. 좀더 경쟁력이 있기 위해서는 PC는 더 내구력이 있으며 재료가 덜 들고 더 빨리 경화해야만 한다. 가격에서의 어떠한 저하요인도 PC를 경쟁성있게 만드는 중요한 요소이다. 재생 PET로부터 만드는 수지는 PC를 더 낮은 가격에 생산하는데 쓰여 질수 있다.

평균적으로 이 재생 PET를 이용한 PC는 virgin 수지를 이용한 것 보다 유사한 성질을 갖는 경우 약 5~10% 정도 가격이 싸다.

즉 재생 프로그램이 더욱 발달함에 따라 PET 조각들의 공급은 증가할 것이고 재생 PET와 수지들의 가격은 내릴 것이다. PC에 이러한 수지들을 사용하는 주장점은 PET조각들이 다른 재생 PET 용도에서처럼 정제될 필요가 없다는 것이다.

(Plastics Engineering, February 33~34(1991))

(수원대학교 전병철)